



## **CONSUMO DE ENERGIA URBANO: INFLUÊNCIA DO PERFIL DO USUÁRIO, DA GEOMETRIA URBANA E DA TEMPERATURA.**

**Léa Cristina Lucas de Souza (1); Flávia Sartorato Pedrotti (2); Francesco Torrissi Leme (3); Juliana Rabello Corrêa (4)**

(1) Universidade Estadual Paulista, Av. Eng<sup>o</sup> Luiz Edmundo Carrijo Coube, s/n<sup>o</sup> – Bauru - SP,  
Fone/fax: (14)-3103-6059

e-mail: [leacrist@faac.unesp.br](mailto:leacrist@faac.unesp.br)

(2), (3) e (4) alunos do Curso de Graduação em Arquitetura e Urbanismo da UNESP-Bauru e membros do NUCAM – Núcleo de Conforto Ambiental

e-mail: [nucam@faac.unesp.br](mailto:nucam@faac.unesp.br)

### **RESUMO**

Esta pesquisa apresenta alguns dos resultados encontrados no desenvolvimento do Projeto CEU – Consumo de Energia Urbano, para o qual são estudadas as relações entre a geometria urbana e o consumo de energia elétrica na cidade de Bauru. Inicialmente é selecionado um bairro residencial e são estipulados pontos de referências para coleta de dados de temperatura do ar e de superfície, determinação do fator de visão do céu, orientação de vias e perfil do usuário. São utilizadas ferramentas de um ambiente SIG - Sistema de Informações Geográficas para uma análise espacial e estatística dos dados. Os resultados encontrados revelam que existe forte tendência da influência do perfil do usuário, da geometria urbana e da temperatura sobre o consumo de energia elétrica.

### **ABSTRACT**

This research presents some of the results reached by the development of the CEU (Consumo de Energia Urbano, or Electrical Energy Consumption) Project, in which the relationships between urban geometry and electrical energy consumption are studied. The work starts with the selection of points in a residential neighborhood in the city of Bauru for the collection of the following data: air and superficial temperatures, sky view factors, street's orientation, and user's profiles. Geographical Information Systems tools are applied to carry out a spatial and statistical analysis of the data. The results show that user's profiles, urban geometry and temperatures have a strong influence on the electrical energy consumption of residences.

### **1. INTRODUÇÃO**

No Brasil e no mundo, a redução do consumo de energia elétrica vem sendo uma preocupação crescente. As fontes de energia não-renováveis estão cada vez mais caras, gerando motivos, além dos ambientais, também econômicos e políticos para alternativas sustentáveis de geração de energia.

O Brasil, que tem 87% de sua energia proveniente de hidrelétricas, já foi vítima da crise energética em 2001, e ainda corre riscos quanto ao abastecimento satisfatório de energia, já que ainda depende de mais investimentos no setor e não só de mais chuvas regulares. Segundo o CBIEE, a APINE, a ABRADE, a ABRACEEL e a ABCE – todos órgãos relacionados à produção, distribuição, comércio e investimentos em energia elétrica - para permitir um crescimento de 3.5% ao ano e gerar empregos

serão necessários nos próximos anos R\$20 bilhões anuais em investimentos no setor elétrico (Informe Publicitário em O Estado de São Paulo, 16 de fevereiro de 2004).

A arquitetura se apresenta, nesse contexto, como responsável pelo uso racional da energia das edificações, a partir do aprofundamento dos conhecimentos relativos à adaptação climática do edifício e à interferência do urbano na eficiência energética do mesmo. As interações entre clima e o desenho urbano tem caráter fundamental no consumo de energia das edificações. O fenômeno da ilha de calor e suas causas e problemas correlatos vêm sendo estudados durante várias décadas, como podem ser vistos nos estudos de Chandler (1965), Bornstein (1968), Terjung (1974), Oke (1978), Landsberg (1981), Jauregui (1984), Lombardo (1985), Monteiro (1976), Maitelli (1994), Sakamoto (1994), Mendonça (1994), Souza (1996), Barbirato (1999), Assis (2000), dentre outros.

Raras são, no entanto, as pesquisas que integram as questões de consumo de energia e os estudos de ilhas de calor. Existe, no entanto, uma estreita relação entre estes dois aspectos, que é evidenciada por Santamouris et al. (2001) e também por Williamson and Erell (2001), que indicam que existe uma relação entre a distribuição espacial da ilha de calor, tanto com a redução do consumo de energia por aquecimento, como com o aumento no consumo por resfriamento. Estas relações não podem, portanto, ser negligenciadas.

Vindo a contribuir nesta área e fazendo parte do Projeto CEU – Consumo de Energia Urbano, esta pesquisa tem por objetivo identificar as relações entre os padrões de consumo de energia urbano, a geometria urbana e o tipo de usuário. Para isso tem-se como área de estudo um bairro residencial na cidade de Bauru e adota-se o fator de visão do céu como indicador da geometria urbana, utilizando-se ferramentas de armazenamento e análise, disponíveis em um Sistema de Informações Geográficas (SIG).

No desenvolvimento deste artigo são primeiramente apresentados os procedimentos metodológicos. Em seguida são abordados o perfil do usuário e suas características de consumo de energia elétrica. Por fim os resultados de geometria urbana e temperatura são relacionados ao consumo de energia.

## **2. PROCEDIMENTOS**

Nesta seção são descritos os procedimentos metodológicos da pesquisa. Inicialmente é apresentada a área de estudo e a forma de determinação da geometria urbana, em seguida são especificados os dados coletados.

### **2.1 Área de estudo**

A cidade de Bauru-SP está situada entre as latitudes 22°15'S e 22°25'S e entre as longitudes 49°W e 49°10'W (a 286 Km de São Paulo em linha reta) e altitudes de 500 a 630m. Implantada na malha urbana daquela cidade, a área de estudo selecionada representa um bairro residencial, que apresenta ampla diversidade na geometria urbana, por possuir grande variação na altura média das edificações.

Para seleção daquela fração urbana foi feita inicialmente uma atualização de dados do mapa de zoneamento da cidade, elaborado a partir da entrada de dados em um SIG e tendo como base uma planta da área urbana e arredores e uma foto aérea da região. Sobre o mapa de setorização foram identificadas todas as áreas tidas como residenciais. Procedeu-se então a seleção de pontos representativos de diferentes configurações geométricas, de forma a se obter uma gama variada de alturas de edificações. A Figura 1, indica a área residencial selecionada destacada no mapa da cidade. Dentro desta área, foram identificados 60 pontos de referência, sendo 20 referentes a uma primeira etapa do Projeto CEU e os demais 40 referentes a uma segunda etapa. A localização dos pontos é apresentada na Figura 2.

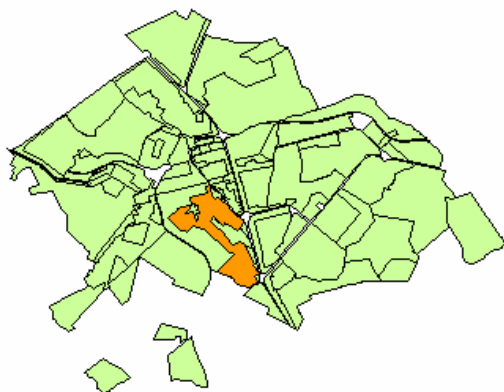


Figura 1 - Delimitação da área de estudo

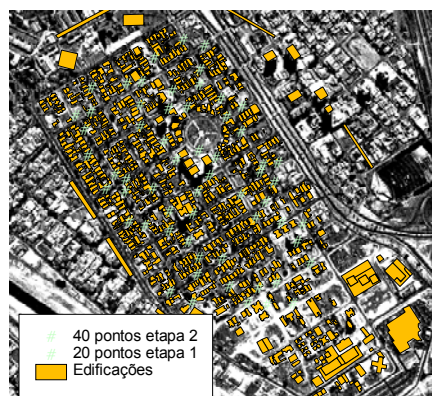


Figura 2 – Localização dos Pontos de Referência

## 2.2 Geometria Urbana

A geometria urbana é aqui descrita pelo fator de visão do céu (FVC). Conforme já apresentado por SOUZA et al (2003), o fator de visão é um parâmetro adimensional que indica uma relação geométrica entre a Terra e o céu e que representa uma estimativa da área visível de céu. Para automatização na determinação deste fator, os mesmos autores desenvolveram uma sub-rotina, a extensão 3DSkyView, incorporada ao *software ArcViewGIS 3.2* da ESRI. A 3DSkyView tem como princípio básico de cálculo a sobreposição espacial de uma malha estereográfica de pontos da abóbada celeste sobre a projeção estereográfica da camada intra-urbana em plano horizontal. Encontra-se hoje no desenvolvimento de sua terceira versão.

A proposta desta pesquisa é aplicar esta extensão, possibilitando a integração de dados no *ArcViewGIS 3.2*. Na versão atual da extensão 3DSkyView é possível simular o fator de visão do céu para vários observadores simultaneamente, permitindo a posterior elaboração de um mapa contínuo de fatores de visão do céu. Esta característica é adequada para os fins desta pesquisa, uma vez que, são considerados vários pontos de referência dentro da malha urbana da fração selecionada.

Com os resultados dos fatores de visão de céu determinados e manipulação de dados no SIG aqui aplicado, foi elaborada a Figura 3. Nela está representada a área em 3D e as diferentes gradações de cores no solo correspondem ao mapa contínuo do fator de visão do céu. Esta figura permite visualizar o impacto das edificações mais altas na área de céu visível sobre toda área de estudo.

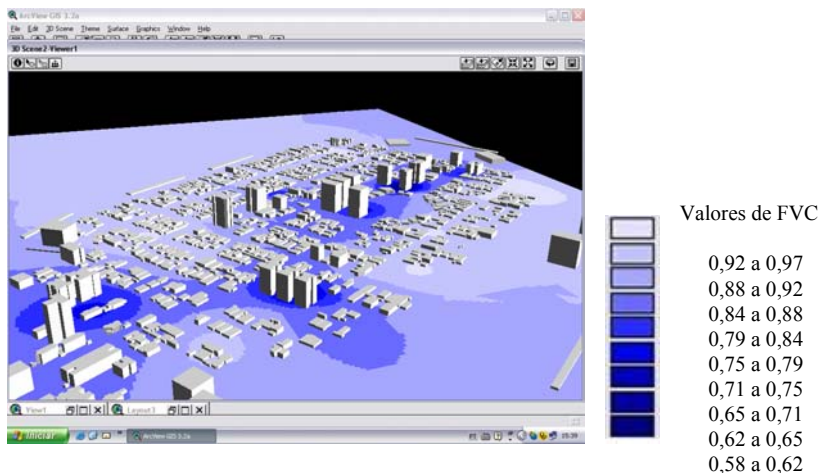


Figura 3 – Mapa contínuo do fator de visão do céu

## 2.3 Metodologia

Determinados os pontos de referência e estimados os valores dos fatores de visão do céu em cada ponto, a coleta de temperaturas do ar e temperaturas superficiais nos pontos selecionados foi efetuada. Para isso foram utilizados sensores do tipo termopares, acoplados a um registrador automático. Tanto para a temperatura do ar, como para a temperatura de superfície, os sensores foram devidamente protegidos por blindagem para serem evitados os efeitos da radiação. Foram feitas medições móveis de 3 em 3 horas das 6h às 21h em dias de verão, tanto nos pontos da 1ª etapa quanto nos da 2ª etapa. Os dias foram de tempo calmo e céu claro, como orienta OKE (1981).

Destaca-se aqui que, para o levantamento térmico em superfícies, foram consideradas superfícies de postes de luz, para que pudesse ser obtido o mesmo tipo de superfície em todos os pontos selecionados, garantindo assim as mesmas características do material. Para as temperaturas do ar e de superfícies foram utilizados sensores distribuídos nos pontos de referência.

Os dados de consumo de energia dos pontos de referência foram coletados no banco de dados da Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL), que possibilitou o acesso específico aos pontos solicitados. Estes dados correspondem a uma série de um ano, correspondendo ao ano de 2003/2004.

Paralelamente às medições térmicas e coleta de dados de consumo de energia, foram distribuídos questionários aos moradores do bairro, com o intuito de verificar seu perfil.

## 3. RESULTADOS E ANÁLISES

Tendo o consumo de energia como foco do estudo, os resultados e análises são apresentados, considerando-se, inicialmente, o perfil do usuário e posteriormente as relações entre o fator de visão do céu, a temperatura e o consumo de energia elétrica.

### 3.1 Perfil do usuário

Os resultados aqui apresentados para o perfil do usuário estão baseados em um índice de resposta de cerca de 3% da população do bairro. Apesar do grande número de questionários distribuídos, como muitas vezes ocorre em questionários aplicados em campo, este índice de resposta é relativamente baixo. A coleta destes dados exige um trabalho de conscientização da importância da pesquisa. Mesmo assim, através das respostas obtidas, pode-se ter uma amostragem de como se comporta o perfil do usuário no bairro estudado. Alguns desses resultados são demonstrados nas Figuras de 4 a 8.

No geral, trata-se de um bairro com 25% da população composta por estudantes e 75% por famílias.

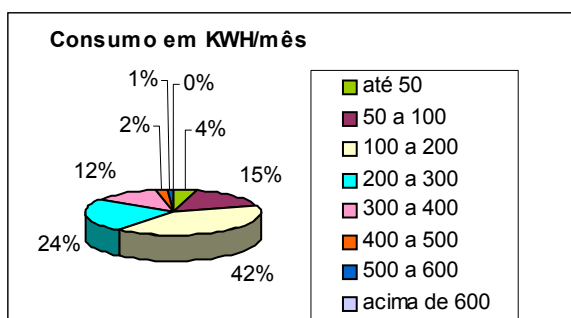


Figura 4 – Consumo de energia elétrica mensal

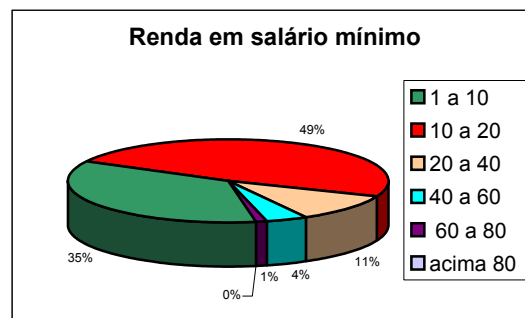


Figura 5 – Renda Familiar

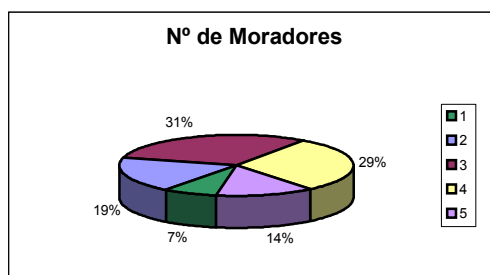


Figura 6 – Número de Moradores por unidade habitacional

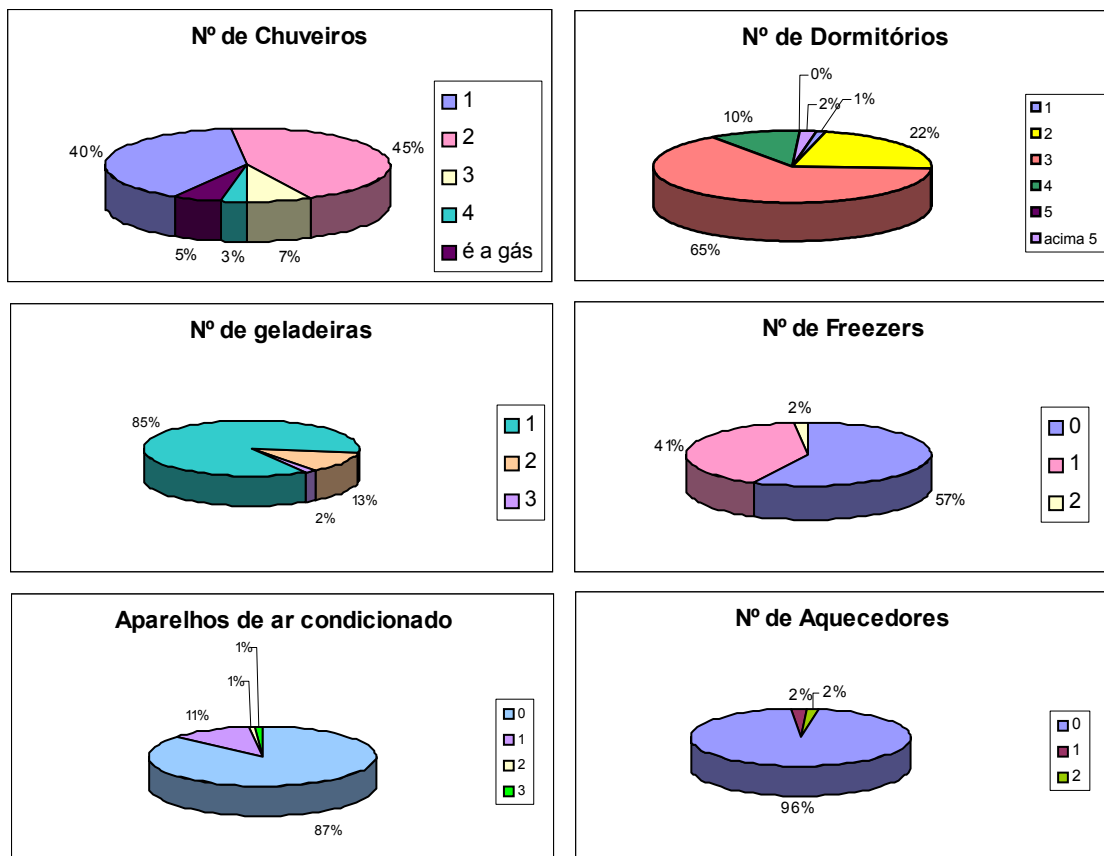


Figura 7 – Número de equipamentos por unidade habitacional

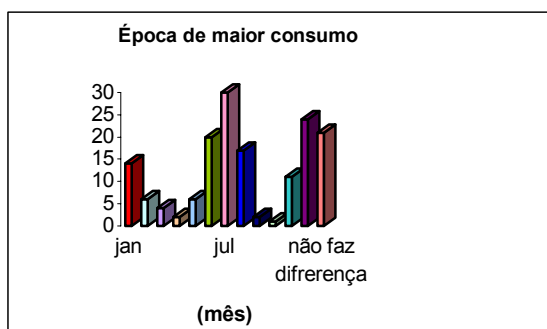


Figura 8 – Época de maior consumo

Desses dados extrai-se o seguinte perfil:

- maior concentração de renda varia entre 10 e 20 salários mínimos, representando cerca de 42% das habitações estudadas;
- a maioria das habitações pesquisadas apresenta um consumo mensal variando entre 100 e 200 kWh/mês, com cerca de 3 a 4 habitantes por unidade habitacional;

- Para a maior parte dos habitantes o maior consumo ocorre nas épocas equivalentes às estações do verão (dezembro, janeiro e fevereiro) e do inverno (junho, julho e agosto).
- As habitações correspondem a unidades com 3 dormitórios em sua grande maioria. Dos aparelhos que implicam em maior consumo de energia, tem-se que a maioria possui 2 chuveiros elétricos, 1 geladeira, não possui freezer, nem ar condicionado, nem aquecedor. Portanto, a diferença de consumo no inverno está mais associada à utilização do chuveiro elétrico;

### 3.2 Fator de Visão do Céu, Temperatura e Consumo de Energia

Neste caso os resultados aqui apresentados referem-se exclusivamente aqueles 20 pontos de referências selecionados para a primeira etapa, uma vez que os dados dos demais pontos encontram-se em processo de armazenamento e análise no SIG e de complementação de medições de inverno.

O resultado das temperaturas médias do ar e do fator de visão do céu para cada ponto foi espacializado na Figura 9. Verifica-se que para a média dos horários medidos existe uma tendência de aumento da temperatura média à medida que aumenta o fator de visão do céu.



Fig. 9 Temperatura do ar x FVC

Também para as temperaturas superficiais verifica-se uma tendência de aumento da temperatura, relacionado com o aumento do FVC. Quando respeitada as faixas de FVC estipuladas anteriormente, o comportamento apresentado na Tabela 1 é encontrado para a média das temperaturas superficiais.

Tabela 1 - Temperatura por Faixas de FVC

Índice de FVC	Temperatura Superficial
0,70 a 0,75	29,8
0,76 a 0,80	29,2
0,81 a 0,85	30,2
0,86 a 0,90	30,5
Acima de 0,91	32,0

Foram ainda consideradas as temperaturas mínimas registradas às 6 horas da manhã, e tirada a média das temperaturas dos pontos para os dias medidos, tanto para a do ar como para a de superfície.

Pode-se considerar que existe uma tendência a registros mais altos de temperatura mínima de ar em locais com FVC menores. Esta é exatamente a característica que revela a ilha de calor. Os materiais acabam por emitir ondas longas, que ficam retidas por maior tempo em locais com menores FVC.

Elaborando-se a análise por faixas de FVC têm-se os resultados apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Temperatura Mínima por faixas de FVC

FAIXA FVC	Temperatura Mínima	Temperatura Superficial Mínima
0,70 a 0,75	25,4	22,5
0,75 a 0,80	24,7	21,9
0,80 a 0,85	24,6	21,8
0,85 a 0,90	24,9	22,2
Acima de 0,90	25,6	22,0

Chama-se a atenção para a faixa acima de 0,90, que se configura como exceção, uma vez que se verificou um problema em uma das medições das 6h. Desconsiderando essa faixa, observa-se que a maior temperatura mínima média do ar corresponde à faixa de 0,70 a 0,75, enquanto as demais tendem a se igualar. Já para as mínimas de superfície, o espalhamento é muito grande, não podendo se afirmar tendência.

Enquanto para as mínimas tem-se a formação da ilha de calor devido às ondas longas, para os horários de temperatura máxima (no caso das 12 e 15 horas), as temperaturas mais altas são obtidas pelo maior acesso solar. Os valores encontrados para a temperatura média das máximas em relação ao FVC demonstram que existe um aumento da temperatura com o aumento FVC. O menor valor de FVC encontrado para as temperaturas máximas do ar situa-se na faixa de 0,70 a 0,75. O mapa especializado destes resultados é encontrado na Figura 10. Também para temperaturas máximas de superfície concluiu-se que existe tendência em aumentar com o aumento do FVC.



Figura 10 – Temperatura máxima do ar

Ainda para as amplitudes térmicas do ar e as amplitudes superficiais foi feito o mesmo tipo de análise, considerando-se as faixas de fator de visão do céu. A Tabela 3 mostra estes resultados.

Tabela 3 - Temperatura Mínima por faixas de FVC

FAIXA	Temperatura Mínima do AR	Temperatura Superficial Mínima
0,70 a 0,75	13,37	14,9
0,75 a 0,80	14,33	15,0
0,80 a 0,85	13,78	14,8
0,85 a 0,90	14,63	15,3
0,90 a 1,00	14,13	16,3

Entre a primeira faixa e a última, a diferença encontrada é de 1,4 °C para a temperatura superficial e de 0,8 °C para a do ar. Isto indica a maior estabilidade das temperaturas, à medida que se tem menor FVC.

Ainda para o cruzamento das informações foram feitos gráficos de consumo médio X amplitude do ar e de consumo médio X amplitude da superfície (Figura 11 e Figura 12).

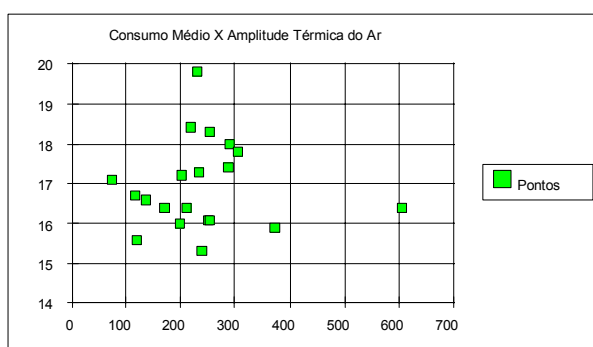


Figura 11 - Gráfico do consumo de energia médio X amplitude térmica do ar para cada ponto

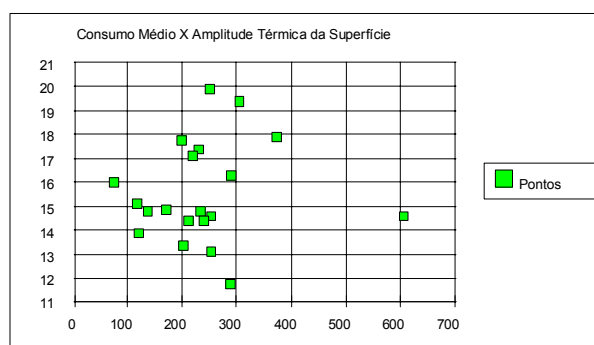


Figura 12 - Gráfico do consumo de energia médio X amplitude térmica da superfície para cada ponto

Observa-se que apesar de serem considerados apenas 20 pontos de referência, parece existir uma tendência nesta relação, ao menos visualmente. Nesta fase do trabalho, no entanto, não há a intenção de ser estabelecida uma correlação estatística destes dados. Em fase posterior da pesquisa, está previsto um aumento do número de pontos de referência e uma análise dos dados através de Redes Neurais Artificiais, o que permitirá uma análise mais consistente desta tendência.

Para um resultado ainda mais expressivo, optou-se por fazer uma análise da amplitude média por faixas de consumidores (Tabela 4) e mapeá-las (Figuras 13 e 14).

Tabela 4 – Características Térmicas das Faixas de Consumo

Faixas de consumo	Ampl. Temp. Ar	Ampl. Temp. Superf.	Temp. Média Ar	Temp. Média Superf.
Abaixo de 162 kWh	13,28	14,30	28,90	29,60
Entre 162 e 288 kWh	14,30	15,30	29,60	30,40
Acima de 288 kWh	14,49	15,70	29,50	30,50

Constatou-se que as maiores faixas de consumo de energia coincidiram com as maiores amplitudes térmicas, representando que áreas urbanas de maior instabilidade térmica também representam áreas de edificações mais consumidoras, já que o aumento do FVC corresponde a um aumento do consumo de energia. Quando é feita a análise acima, considerando-se as temperaturas médias do ar e da superfície, o mesmo tipo de resultado foi encontrado. Verifica-se que a faixa de consumo mais baixa refere-se a menor amplitude (cerca de 1°C de diferença para a faixa intermediária), tanto do ar quanto de superfície. O mesmo acontece para as temperaturas médias do ar e da superfície. Já as faixas de consumo médio e aquela acima de 275 kWh por mês tendem a uma temperatura mais igualada entre si.

Quanto à orientação, a malha do bairro estudado apresenta 2 tipos de angulação em relação ao Norte, ou seja, 60° e 150°. A Tabela 5 indica os valores encontrados para os consumos médios em função da orientação das vias.



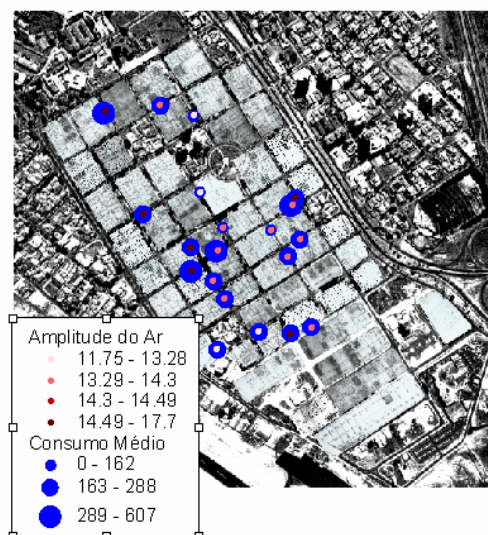


Figura 13 - Amplitude da temperatura do ar de acordo com o consumo de energia médio

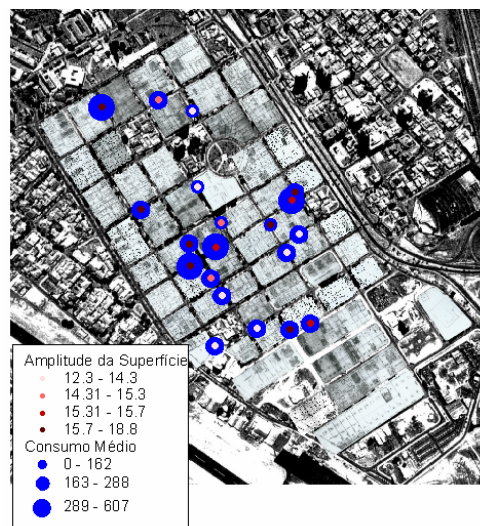


Figura 14 - Amplitude da temperatura da superfície de acordo com o cons. de energia médio

Tabela 5 – Orientação das vias e o consumo de Energia

Orientação	Consumo Médio	Consumo Verão	Consumo Inverno
60°	299	317	294
150°	198	199	211

A orientação de 60° em relação ao Norte apresentou cerca de 50% mais consumo que a orientação de 150°. Já as temperaturas médias não apresentaram diferenças significativas. As orientações à 60° apresentaram 7% mais consumo no verão do que no inverno, enquanto que as orientações à 150° apresentaram 6% mais consumo no inverno que no verão.

#### 4. CONCLUSÕES

Conforme o objetivo mencionado na introdução, verificou-se que existe uma efetiva relação entre o fator de visão do céu, a temperatura do ar e o consumo de energia. Dentre as faixas estudadas aquela que apresentou um fator de visão do céu entre 70 e 80% representou a de melhor desempenho e consumo para o clima estudado. Apesar de esta ser apenas uma parte que irá contribuir para um projeto maior, já podem ser verificadas algumas tendências de consumo. No caso, o resultado mais significativo é o fato de existir uma forte influência tanto da orientação da via, como do fator de visão do céu e da temperatura no consumo de energia elétrica das edificações.

O consumo de energia não é regido apenas pela geometria urbana. Sabe-se que muitos hábitos do consumidor e faixa de renda influenciam diretamente no padrão de consumo. Pelo perfil do usuário estudado, verificou-se que com a média de faixa de renda de 10 a 20 salários mínimos, tem-se uma média de consumo de energia elétrica de 100 a 200 kWh/mês. Um estudo mais detalhado deste perfil do usuário está sendo elaborado para evidenciar as diversas tendências.

Salienta-se ainda que os demais pontos de referências do Projeto CEU, que se encontram em processamento e aguardando a época adequada para medições de inverno, poderão revelar de forma mais detalhada as relações aqui estudadas. Estes dados serão também integrados em SIG e analisados através da aplicação de Redes Neurais Artificiais.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSIS, E. S. (2000) Impactos da forma urbana na mudança climática: método para a previsão do comportamento térmico e melhoria de desempenho do ambiente urbano. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo), FAU-USP, São Paulo.

- BARBIRATO (1999) BARBIRATO, G. M. (1998) Aplicação de modelo de balanço de energia para análise do ambiente térmico urbano de Maceió - AL. Tese (Doutorado em Engenharia), EESC-USP, São Carlos.
- BORNSTEIN, R.D. (1968). Observations of the urban heat island effect in New York city. *Journal of Applied meteorology*, v.7, p.572-582.
- CHANDLER, T. J. (1965). *The climate of London*. London, University Library.
- JAUREGUI, E. (1984). Los climas urbanos tropicales – revision y evolución. Conferência técnica de la WMM sobre climatología urbana y sus aplicaciones particularmente en lo que se refiere a las regions tropicales. Doc. 6. Cidade do México.
- LANDSBERG, H. E. (1981) *The urban climate*. New York: Academic Press.
- LOMBARDO, M.A. (1985). *A ilha de calor nas metrópoles. O exemplo de São Paulo*. São Paulo, HUCITEC.
- MAITELLI, G. T. (1994) *Uma abordagem tridimensional de clima urbano em área tropical continental: o exemplo de Cuiabá, MT*. Tese (Doutorado em Geografia), Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- MENDONÇA, F.A.(1994) *O clima e o planejamento urbano de cidades de porte médio e pequeno (proposição metodológica para o estudo e sua aplicação à cidade de Londrina/PR)*. Tese (Doutorado em Geografia), FFCH/USP, São Paulo.
- MONTEIRO, C. A. F. (1976) *Teoria e clima urbano*. Tese (Livre Docência em Geografia), Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- OKE, T. R. (1978). *Boundary layer climate*. London, Methuen.
- \_\_\_\_\_. (1981). Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations. *Journal of Climatology*, v.1, p.237-254.
- SAKAMOTO, L. L. S. (1994) *Relações entre a temperatura do ar e a configuração do céu na área central da metrópole paulistana: análise de dois episódios diários*. Tese (Doutorado em Geografia), FFCH/USP, São Paulo.
- SOUZA, L.C. L. (1996) *Influência da geometria urbana na temperatura do ar ao nível do pedestre*. Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, EESC/USP, São Carlos.
- SOUZA, L.C. L. de; PEDROTTI, F. S.; LEME, F. T. (2004) “Urban Geometry and Electrical Energy Consumption in a Tropical City”. In: 5th CONFERENCE ON URBAN ENVIRONMENT, 5., 2004, Vancouver. *Proceedings...* Boston: American Meteorological Society, 2004. 1 CD-ROM.
- SOUZA, L.C. L.de; RODRIGUES, D. S.; MENDES, J.F. G.(2003) “A 3D-GIS extension for sky view factors assessment in urban environment” In: 8th INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTERS IN URBAN PLANNING AND URBAN MANAGEMENT – CUPUM, 8, 2003, Sendai, Japan. *Proceedings...* Sendai, Japan, p. 27 – 29.
- TERJUNG, W.H.J. (1974). “Climatic modification”, in: Manners, I.R e Marvin, W. (orgs.): *Perspectives on environment*. Washington, Mikesell, Association of American Geographers, no 13.
- SANTAMOURIS, M.; PAPANIKOLAOU, N.; LIVADA, I.; KORONAKIS, I.; GEORGAKIS, C.; ARGIRIOU, A.; ASSIMAKOPOULOS, D.N.. (2001). On the impact of urban climate on the energy consumption of buildings. *Solar Energy*, n. 70, v.3, p. 201-216.
- WILLIAMSON, T. J.; ERELL, E. (2001). “Thermal performance simulation and the urban microclimate: measurements and prediction”, in: 7th IBPSA, 2001, Rio de Janeiro, Brasil. *Proceedings...* Rio de Janeiro, Brasil. p. 159-166.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao apoio do CNPq através da concessão de bolsas de Iniciação Científica, a CPFL-Companhia Paulista de Força e Luz, que forneceu o histórico de consumo de energia, às agências de fomento à pesquisa, FAPESP, CAPES e FUNDUNESP, pelo apoio ao Projeto CEU.